



## 저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

도시계획학 석사학위논문

글로벌 도시의 활동성과 중심성  
비교분석

2016년 2월

서울대학교 환경대학원  
환경계획학과 도시 및 지역계획 전공  
송 지 용

## 국문초록

20세기를 거치면서 인류의 과학기술은 비약적인 발전을 이루었고, 이를 바탕으로 두 차례에 걸친 세계대전과 전후의 냉전시대를 거치며 역사상 유례없는 경제적인 성장을 달성하였다. 그리고 20세기 말에는 냉전시대가 사실상 종결되어 이념으로 인한 국경이 대부분 해제되었으며, 종래의 경제적인 질서를 탈바꿈시켰다. 이로부터 약 30년이 흐른 현재에 이르기까지 교통수단과 통신기술의 발달 덕분에 세계적으로 지리적인 연계가 가속화되었다. 따라서 특정 지역의 경제적인 활력이 주변으로 급속히 과급되거나 또는 국가 외부에서의 변화가 국내의 특정지역에 직접적인 영향을 주는 경우가 늘고 있다.

흔히 도시계획에서 지역의 경제상황을 파악하는 방법으로, 특정 산업의 LQ지수를 산출하여 이들 지역을 평가하는 분석이 자주 행해지나 산업의 절대적인 규모와 지역의 경제적인 수준까지 동시에 파악하는 것은 용이하지 않다. 따라서 인구와 GDP 등의 자료를 이용하지만, 이를 통해서도 도시의 경제적인 활력과 영향력이 도출되지 않는 경우가 있다.

따라서 본 연구에서는 이러한 단점을 보완하기 위해, 리모트센싱에 의한 야간광 측정치를 이용하여 세계적인 규모에서 도시의 경제적인 활동성을 측정하고, 이로부터 새로운 지표를 정의하여 도시의 영향력을 알아본다. 추가로, 연도에 따른 수치만을 보여주는 인공위성 이미지의 고유한계를 극복하기 위해, 글로벌 항공자료로부터 산출한 중심성 지표를 참고 및 보정하여 동적으로 변화하는 도시의 경제적 영향력을 관찰한다.

결국, 지역의 활력을 다른 지역과의 비교로부터 판단하기 위해서는, 야간광 지표를 통해 산출한 활동성 지표를 이용하는 방법이 유효하다는 사실을 본 연구에서의 상호검정과정으로부터 제시한다.

◆ 주요어 : 리모트센싱, 야간광 지표, 중심성, 활동성, 상관관계분석

◆ 학 번 : 2014-24011

## <목차>

I. 서론 .....	1
1. 연구의 배경 및 목적 .....	1
2. 연구의 범위 .....	2
3. 연구의 방법 .....	3
4. 연구 흐름도 .....	4
II. 선행 연구의 고찰 .....	5
1. 선행연구 .....	5
1) 야간광과 관련한 선행연구 .....	5
2. 선행 연구의 고찰 .....	11
1) 야간광 지표를 통한 도시 분석 .....	11
2) 활동성 지표에 관한 고찰 .....	12
III. 야간광 분석을 위한 모형 구축 .....	13
1. 야간광 분석을 위한 모형 설정 .....	13
1) 활동성 지표의 단위 .....	13
2) 회귀검정 분석을 위한 모형의 설정 .....	15
2. 자료선정 .....	17
1) DMSP/OLS 야간광 자료 .....	18
2) 글로벌 도시의 항공량 자료 .....	19

#### IV. 야간광 지표에 기초한 활동성 분석 ..... 20

1. GIS를 이용한 통계 분석 ..... 20
2. 야간광 활동성 지표와 중심성 지표의 상관성 검정 ..... 21
  - 1) 검정결과 (중심성 지표가 높은 순서대로 추출) ..... 22
  - 2) 검정결과 (중심성 지표가 높은 순서대로 작위적 추출) ..... 24
  - 3) 검정결과 (국가 단위의 분석과 국가 그룹별 분석) ..... 25
  - 4) 활동성과 중심성의 연도별 순위를 통한 상호검정 ..... 29
3. 소결 ..... 30

#### V. 결론 ..... 31

1. 연구의 요약 및 시사점 ..... 31
2. 연구의 한계 및 향후과제 ..... 32

#### ■ 참고문헌 ..... 33

- <부록 1> 연도별 상호검정계수 ..... 37
- <부록 2> 공개되어있는 DMSP/OLS 위성의 야간광 위성 자료 ..... 38
- <부록 3> 아프리카 대륙 도시의 활동성 및 중심성 지표 (1위~30위) ..... 39

## <표 목차>

<표 1> 2005년과 2006년의 상위 30개 도시의 베타 중심성 .....	19
<표 2> 2005년의 중심성 지표로 매긴 18위까지의 활동성 지표 .....	22
<표 3> 중국 17개 도시의 값 .....	25
<표 4> 아시아 대륙에서 중심성 50 이상을 갖는 도시 (2005년) .....	26
<표 5> 2005년의 활동성 지표와 중심성 지표의 상호검정결과 .....	28
<표 6> 2005년에 가장 높은 활동성 수치(64)를 나타낸 도시 .....	29

## <그림 목차>

[그림 1] GDP와 야간광의 상관관계 .....	2
[그림 2] 위성에 따른 DN값 변화 .....	2
[그림 3] 연구흐름도 .....	4
[그림 4] 베를린 시내의 동과 서 .....	6
[그림 5] 1000와트짜리 나트륨램프 .....	9
[그림 6] 국가별 GDP와 인구의 상관성 .....	16
[그림 7] 2012년 동북아시아의 야간광 밝기측정 .....	17
[그림 8] 연도별 밝기의 변화 그래프 .....	18
[그림 9] 구역 통계(Zonal Statistics as Table)를 통한 시각화 .....	20
[그림 10] 2005년의 활동성과 중심성 지표를 200개 도시에서 비교 .....	21
[그림 11] 로스엔젤레스의 행정구역과 실제 도시의 경계 .....	23
[그림 12] Stata를 이용하여 2005년 활동성과 중심성 지표를 비교 .....	24
[그림 13] 중국의 활동성과 중심성 비교 (2005년) .....	25
[그림 14] 아시아 도시의 중심성과 활동성 비교 (2005년) .....	27
[그림 15] 함수의 대응관계 .....	30

# I. 서론

## 1. 연구의 배경 및 목적

인간의 눈은 어두운 곳에서 물체를 식별하기 어렵다. 따라서 전구가 발명되기 이전인 19세기 말에 이르기까지 저녁시간의 활동은 큰 제약을 받았다. 그러나 전구가 보급되어 조명으로 쓰이게 되면서 인공적인 광원은 도시의 내관과 외관을 구성하는 필수적인 요소로 자리매김 되었다.

이처럼 빛은 현대 인류의 생활과 밀접하기 때문에 인공적으로 발생하는 빛을 관찰하면 경제적인 수준과 사회적인 장벽 등의 다양한 특징을 파악하기 유리하다. 따라서 저녁의 야간광을 측정하는 것은 삶의 터전인 도시를 조사하기 위한 하나의 수단이 될 수 있으며, 이를 위해서는 인공 위성<sup>1)</sup>의 센서를 통하여 넓은 범위를 두루 살펴보는 것이 효과적이다.

리모트센싱을 위하여 개발된 인공위성에는 여러 종류가 있으며, DMSP/OLS(Defense Meteorological Satellite Program-Operational Linescan System)도 이러한 위성자료의 하나이다. 그리고 미국 기상청(NOAA)에서는 DMSP 극궤도 위성에 장착된 OLS광센서의 디지털 이미지를 공개하여 누구나 사용할 수 있도록 제공하고 있다.

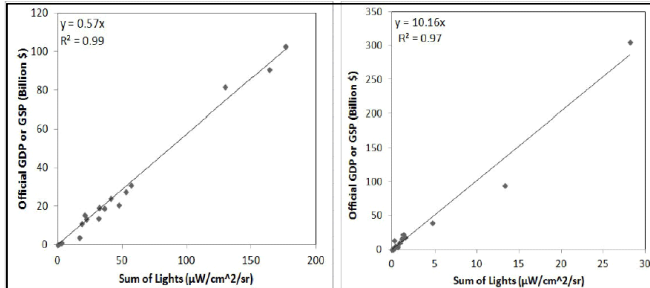
이를 이용하여 본 연구에서는 DMSP/OLS 위성의 야간광 이미지를 분석하여 글로벌 도시의 에너지·경제적인 활동성을 측정하고 이 수치를 네트워크 중심성 지표와 비교하여 두 지표간의 상관성을 검증한다. 참고로 야간광의 밝기가 도시의 에너지 소비량과 비례한다는 선행연구(山中裕則, 外. 1993, Tilottama Ghosh, et al. 2013)에 의하면, 야간광의 세기는 도시의 경제적인 영향력 및 인구수와 비례하는 상징성(Junfu Fan, et al. 2014)을 가지고 있으며 또한 GDP가 누락된 지역을 조사하는 과정에

---

1) 참고로 인공위성이란, 인공적으로 행성의 주위를 회전하도록 만들어진 물체를 말하는데, 지구 궤도에서 특수한 기능을 수행하며 이로부터 받은 영상을 해석하는 분야를 리모트센싱이라 한다.



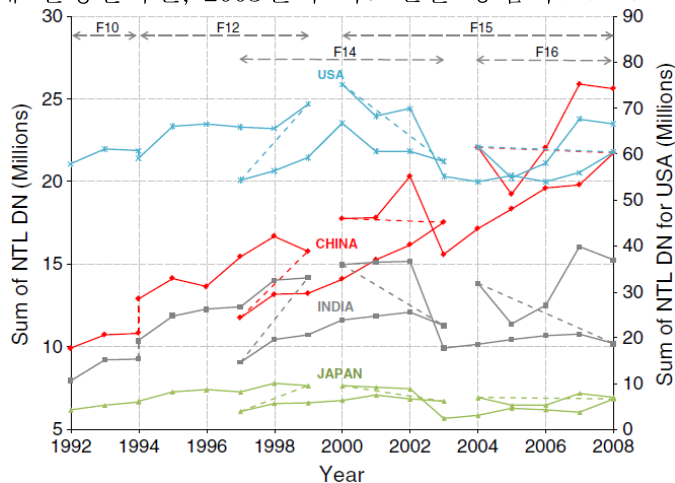
있어서도 빛으로부터 GDP를 추정가능하다는 점에서(Yuke Zhou, et al. 2015, J. Vernon Henderson, et al. 2009, Tilottama Ghosh, et al. 2013), 세계적인 규모로 연구범위를 확장시킬 수 있다는 장점이 있다.



[그림 1] 2013, Tilottama Ghosh, et al. (GDP와 야간광의 상관관계) 미국, 중국, 멕시코, 인도를 같은 그룹으로 조사하였다.

## 2. 연구의 범위

야간광 데이터를 이용한 도시의 활동성 분석과 항공데이터를 이용한 도시의 중심성 분석은 전 세계의 주요도시(4611개)를 공간적인 분석범위로 설정한다. 여기에서 4611개의 도시는 중심성 지표(정해영, 2015)에서 다루었던 글로벌 도시의 개수와 일치한다. 다음으로 본 연구의 시간적인 분석범위는 2005년부터 2012년까지에 주목한다. 그러나 본 연구의 분석기간을 짧게 설정한다면, 2005년의 자료만을 중점적으로 조사할 것이다.



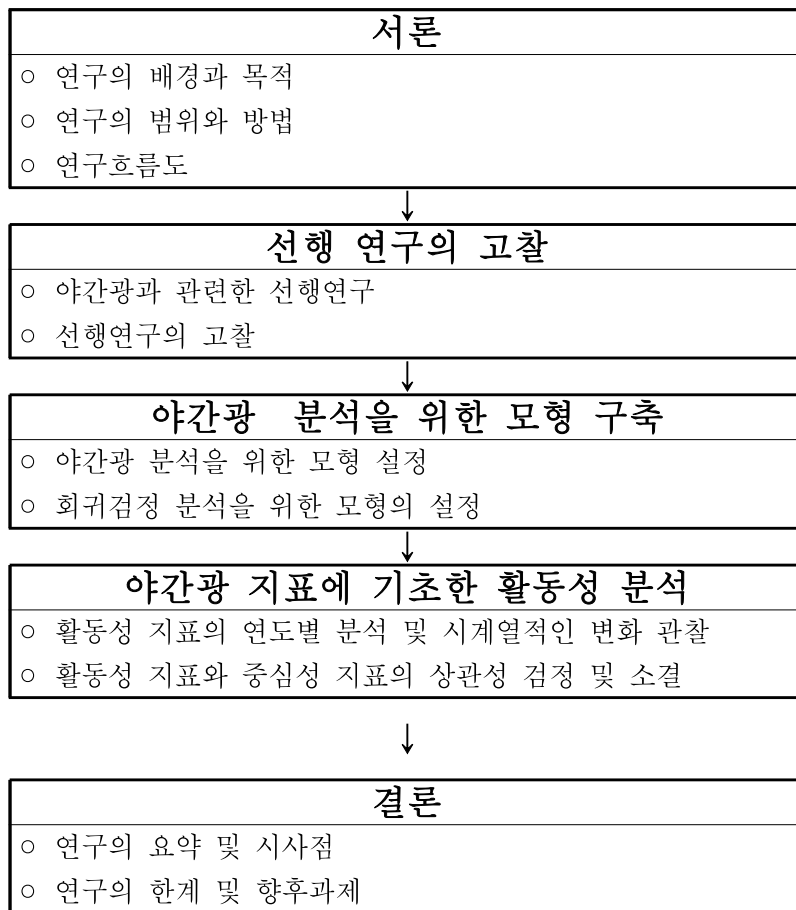
[그림 2] Qingling Zhang, Karen C Seto. 2011. 위성에 따른 DN값 변화

### 3. 연구의 방법

구체적인 연구방법을 살펴보면, 먼저 인공위성에서 촬영한 야간광 이미지(Raster파일)를 선행연구(Elvidge et al. 2014)에서의 회귀분석과정을 통해 단일한 기준으로 보정한다. 그리고 다음에는 이미지의 화소(DN:Digital Value) 값을 주요 도시의 경계에 맞추어 구역통계(Zonal Statistics) 분석을 거쳐서 화소(DN)값의 평균을 산출한다. 특히 이 과정에서는 DMSP/OLS자료의 산란효과에 대한 보정능력의 한계로 인해, 도시의 행정경계 외부에서 나타나는 픽셀의 밝기(DN)를 계산과정에서 제외한다. 바다와 산속에서 불빛이 관측되는 위의 현상은 산란효과에 의한 것으로, 조명에서 방출되는 빛의 광자 에너지가 대기 중의 에어로졸 입자와 충돌하며 빛이 주변공간으로 흩어지기 때문에 생긴다(Changyong Cao, Yan Bai, 2014). 다시 말해, 빛은 도시상공의 미세먼지농도와 대기 상태에 의해 상당한 영향을 받으며 이는 본래 어두운 지역을 밝게 측정하게 만드는 요인으로, 선행연구에서는 이와 같은 단점을 줄이기 위한 다양한 시도(파장 및 빛의 입사각 보정)를 볼 수 있다(Rafael Wiemker, 1995). 이러한 작업 중에는 산란중심(Scattering center)을 기준으로 표준광도를 정하는 방법도 있는데, 구체적으로는 확대된 야간광 이미지가 가지는 정사각형 픽셀단위의 도시 광원 데이터로부터 특정 셀을 둘러싸고 있는 8개의 주변 셀을 포함하여 이 중 픽셀해상도가 가장 밝은 셀을 선별하는 과정을 통해서 이루어진다. 그러므로 구역통계(Zonal Statistics) 과정에서 산출된 야간광 수치는 산란중심으로부터 표준광도를 정하는 선별과정을 거치지 않았다는 점에서 정확성의 오차가 존재한다. 그러나 작위적 선별과정을 거치기 위해서는 래스터 이미지를 작은 격자(Polygon)단위로 나누어 이를 코드를 통해 다시 계산하며 분석해야하는데, 주요도시(4611개)를 모두 격자화(Polygonization)시키기에는 컴퓨터 계산에 필요한 메모리가 부족하므로 위의 과정 대신에 구역통계(Zonal Statistics)기능을 사용하여 분석을 진행한다.

마지막으로 앞에서 다루었던 분석과정을 통해 산출된 구역(도시)별 야간광 밝기(DN값)의 평균을 활동성 지표로서 정의하고 이를 항공네트워크의 중심성 지표와 상관성 검증하는 과정을 거쳐서 결론을 도출한다.

#### 4. 연구 흐름도



[그림 3] 연구흐름도

## II. 선행 연구의 고찰

### 1. 선행연구

본 연구에서 새롭게 정의하는 활동성이라는 지표가 가진 의미에 대해, 선행연구에서 다루었던 내용(도시의 전기소비량 및 GDP의 크기와 야간광의 세기가 비례하다는 연구: Yuke Zhou, et al. 2015, Tilottama Ghosh, et al. 2013)과 관련지어 고찰한다.

#### 1) 야간광과 관련한 선행연구

외부공간, 특히 우주공간에서 관측한 자료를 바탕으로 도시를 연구하는 사례가 늘고 있으며, 최근에는 인공위성 센서로부터 야간광을 얻어서 이를 기초로 사회현상을 분석하는 연구가 증가하고 있다(Qingxu Huang, et al. 2014). 한 예로, 2014년의 논문(Christopher C.M. Kyba et al. 2015)에서는 독일 연구진이 Suomi National Polar-orbiting 위성의 VIIRS/DNB대역(The Visible Infrared Imaging Radiometer Suite Day-Night Band) 관측결과를 토대로 도출한 도시별 특징에 관한 연구가 있다. 위 분석(Christopher C.M. Kyba et al. 2015)을 통해, 독일의 수도인 베를린 시내에서는 전체 광원의 1/3이 가로조명에 의한 것으로 밝혀졌으며 전체 광원의 16%는 공업지역, 10%는 공공사업구역, 그 밖의 도시주택, 상업지구, 공항 등에서는 각각 전체의 10% 이하만 방출되는 것으로 나타났다. 추가로 구(舊) 동독구역에 속해 있던 동(東)베를린에 해당하는 지역에서는 나트륨등 특유의 오렌지 스펙트럼이 관측되는 반면에, 서(西)베를린에서는 흰색 스펙트럼이 주로 관측되며 이는 수은 내지는 LED로부터 나오는 빛이라고 밝혀졌다. 그러나 빛의 발생원에 따라 소비되는 전기에너지양이 동일함에도 불구하고 밝기 차이를 유발하는데,

예를 들어, 55와트짜리 텅스텐-할로겐등은 1500 lumen의 밝기를 내지만, 55와트짜리 나트륨 가로등은 8000 lumen의 밝기를 내는 것으로 조사되었다(Brian Min, Kwawu Mensan Gaba, 2014).

한편, 동(東)베를린의 빛은 서쪽에 비해 강렬한데, 그 이유는, 서(西)베를린의 많은 지역에서 아직도 가스등을 사용하기 때문이라고 한다. 따라서 가스램프를 많이 사용할수록 인공위성의 센서가 해당 스펙트럼을 제대로 인식하지 못하여, 실제로는 밝은 곳을 어둡게 인식되게 만든다.

[그림 4] Christopher C. M. Kyba, et al. 2015. 베를린 시내의 동과 서



위의 사진에서도 볼 수 있듯이, 최근의 인공위성 해상도는 과거에 비해 상당히 발전하여, 국가 단위가 아닌 도시 내에서의 세부적인 조사가 가능하지만, 본 연구에서는 세계적인 규모의 거시적인 차원에서 접근하고자 한다. 그러므로 지역 간의 격차를 알아보는 방향으로 연구를 진행하는데, 선행연구에서의 예를 들면, 바르샤바를 제외한 중앙유럽의 도시들이 런던이나 마드리드와 같은 서유럽의 도시와 비교하여 일인당 발산하는 빛의 양이 작게 관측되는 현상의 원인을 조사할 수도 있다(총 빛의 양/인구수로 산출). 이러한 현상은, 동유럽 주민의 1인당 전기 에너지 소비량이 서유럽 주민에 비해 낮다는 사실을 통해서 증명된다.

한편 다른 연구로는, 1인당 경제적 소득이 비슷한 미국과 독일을 비교분석한 사례도 있다. 이 연구에 의하면, 미국의 도시가 독일의 도시보다 가로 폭이 상대적으로 넓고 가로수(木)의 숫자가 적은데다가, 건물의 용적률이 크기 때문에 훨씬 밝게 관측되었다. 반면에 독일의 경우에는 도시가 커질수록 1인당 에너지 소비가 감소하는 경향을 보임으로써 미국과는 대조적인 결과가 나타났는데, 이는 국가규모에서 큰 차이를 유발하여 인구 1만명 이상의 도시에서는 미국이 독일보다 약 3배 밝고 인구 10만명 이상의 도시에서는 미국이 독일보다 약 5배 밝게 나타나는 원인으로 작용하였다. 그러므로, 세계 도시의 활동성을 연구하는 과정에서는 빛의 밝기에만 주목하는 것으로는 부족하며 도시의 경제력 또는 기타 기준을 통해 비슷한 수준의 도시들끼리 동일한 그룹에 속하도록 설정할 수 있다. 그럼에도 불구하고 같은 그룹 내에서는 사회적 배경과 도시의 외형적 형태(Morphology)의 차이에 따라 야간광의 밝기와 분포가 다르게 나타날 수 있지만, 이보다 더 뚜렷한 차이는 경제적인 격차로 인하여 처음부터 다른 그룹으로 분류된 도시와의 상대적 비교에서 나타날 것이며, 따라서 그룹 간의 차이를 반영하면 도시의 에너지 소비량 변화(활동성)를 통한 도시의 영향력도 유추해 볼 수 있을 것으로 예상된다.

다음으로는, 본 연구의 DMSP/OLS 자료가 제공하는 30아크세컨드의 2.7km~1km 해상도보다 VIIRS DNB자료의 해상도가 500m~750m로서 성능이 더 우수한데, 왜 DMSP/OLS를 선택하였는가에 대한 부연설명이다. 선행연구에 의하면, DMSP/OLS 자료는 1970년대부터 구름의 분포와 온도를 측정하기 위해서 미국과 유럽을 중심으로 이용되어왔지만, 본격적으로 쓰이기 시작한 것은 1992년부터의 일로, 이후 2013년까지의 자료가 공개되어있는 반면, NPP-VIIRS의 DNB자료는 2012년부터 조사되었고, 해상도는 높지만 원본 이미지가 보정되어있지 않고 산불이나 화재 및 오로라와 같은 일시적인 불빛까지도 잔상으로 남아있어서 호수의 반사광과 눈 덮인 산에서 반사되는 불빛까지 보정되지 않은 상태로 남아있다는 단점이 있다. 그러나 가장 큰 단점은 위에서 언급했듯이, NPP-VIIRS의 경

우에는 운영기간이 짧았던 까닭에 시계열적인 분석의 한계가 있다는 점이다. 따라서 본 연구에서는 NOAA의 DMSP/OLS (Version-4) 자료를 활용한다.

앞으로 다룰 DMSP/OLS자료에는 크게 세 가지 종류가 있다. 먼저 표준광 이미지가 있고 다음으로는 클라우드 프리 코버레이지와 필터링을 거치지 않은 원본 이미지가 있다. 이 세 가지 자료 중에서 표준광 이미지(Stable light)는 주로 항시적인 불빛만 찍혀있으므로, 일시적인 산불이나 가스의 불빛 및 화산과 배경잔상(Noise)으로 인한 효과가 배제된 이미지이다. 덧붙여서 위 자료는 미국 기상청 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration) 사이트로부터 2013년 9월에 4번째 버전이 업데이트되어 공개 중이며, 지구 주위를 하루에 14번씩 공전하면서 지구상의 모든 장소를 매일 밤 8시30분부터 10시 사이에 걸쳐서 기록 중이라고 한다.

참고로 선행연구 중에서는 DMSP/OLS센서의 성능을 알아보기 위한 실험(Benjamin T. Tuttle, et al. 2014)도 있다. 2009년 12월부터 2011년 1월 사이에 미국 콜로라도와 뉴멕시코 지역 사막 한가운데에서 1000와트 짜리 나트륨(Sodium)등의 개수를 변화시키면서 위성관측이 가능한지를 알아보는 식으로 진행되었다. 이에 대한 결과는 1000와트짜리 나트륨등은 하나까지도 탐지되는 것으로 확인되었으며, 1000와트짜리 나트륨등이 8개 이상 모이면, 매우 선명한 이미지를 얻을 수 있다는 사실을 밝혀냈다. 참고로, 1000와트짜리 전구 하나의 밝기는, 100와트짜리 전구 93개를 모아놓은 것과 비슷하며, 광원의 밝기와 관측 가능한 해상도 반경(거리)과의 상관관계는  $R^2$ 에서 +0.65의 연속적인 상관 수치를 갖는다.

이렇게 우수한 검출성능을 보이는 DMSP/OLS 자료이지만, 야간광 측정에서는 성능의 한계로 인해 고려해야 할 보정요소가 몇 가지 있다. 먼저 연구 방법론에서 언급하였듯이, 빛의 산란효과로 인해 주변이 밝게 나타나는 현상을 보정해야 하는데, 구체적인 방법으로는 미광보정(Stray

light correction)을 통한 산란현상의 줄임과 다중스펙트럼 분석에서 스펙트럼 필터링을 통한 빛의 불변성 해결방법(Tao Xu, et al. 2014)을 참조한다. 다음으로 이틀 도시경계데이터 내지는 행정구역상의 좌표영역(Grid)과 일치시킴으로써 도시의 활동성 산출이 가능하다.



[그림 5] Benjamin T. Tuttle, et al. 2014, 1000와트짜리 나트륨램프

참고로 전기사용량과 야간광의 밝기는 정비례하며 주거지역의 에너지 사용량이 1% 증가할 때마다, DMSP/OLS상의 63 밝기등급에서는 0.62%만큼 올라간다는 자료가 있다(Brian Min, Kwawu Mensan Gaba, 2014). 구체적인 수치로서 살펴보면, 약 125개에서 200개의 가로등이 설치될 때마다 DMSP/OLS 표준광 이미지(Stable light) 상에서의 DN값은 1등급(전체는 63등급)만큼 증가하는데, 이는 대략 550개소에서 700개소의 집(Electrified home)이 새로 증가할 때마다 나타나는 밝기변화와 같다. 물론 표준광 이미지에서 DN값이 0인 곳은 거의 어두운 지역이고, 이것이 양의 값으로 증가하는 것은 그만큼 밝아지는 것을 의미한다. 위 사실들은, 2000년에서 2012년 사이의 기간 동안 밝기 변화가 명확히 관측되었던 베트남 지역의 상관분석(Correlation Analysis)을 통해 증명되었다(Brian Min, Kwawu Mensan Gaba, 2014).



한편, 1에서 63까지의 DN수치를 갖는 DMSP/OLS의 표준광(Stable light)자료에서 DN값이 12보다 작은 지역을 제외하여 조사지역을 중소도시 이상으로 한정하는 방법으로 조사대상의 범위를 축소시키면, 변화 정도가 더 명확하게 도출된다는 사실이 선행연구(Tao Xu et al. 2014)의 회귀분석과정에서 밝혀졌다. 그리고 이와 비슷하게 진행된 기타 선행연구(Wenze Yue et al. 2014)에서도 DN(밝기)값이 8미만인 곳을 1차 산업 지역으로 보았고, 이곳을 논, 밭, 목축, 어업, 산림 등의 용도지역으로 가정하여 분석대상에서 제외하는 편이 타당하다고 기술되어있다.

그리고 이 밖에도 야간광과 GDP의 관계(Kaifang Shi et al. 2014, Li Zhang et al. 2015), 야간광을 통한 인구추정(山中裕則 外. 1993, Qingling Zhang, Karen C. Seto 2011), 야간광과 금속소비량과의 관련성(Hanwei Liang et al. 2014), 야간광으로 인한 빛 공해(Pengpeng Han et al. 2014, 김민호. 2014), 야간광을 이용한 어선 탐지 등의 주제가 다루어졌으며 (William C. Strake III, et al. 2015, 김상우 외. 2005), 특히 GDP추계에 선형회귀모델을 적용하여  $GDP = w (\text{회귀계수}) * L (\text{야간광}) + C (\text{픽셀의 회귀분석에 기초한 intercept})$  공식을 통해 계산한 결과, 행정지역의 경계에 따른 NPP-VIIRS의 분석결과는  $R^2$ 수치에서 +0.870만큼 GDP와 상관성이 있었고, DMSP/OLS와 GDP사이의 관계에서도 동일한 방법으로 조사한 결과 +0.7315의 상관관계가 있는 것으로 밝혀졌다(Kaifang Shi et al. 2014).

위의 값은 수정된 NPP-VIIRS 자료를 토대로 산출한 결과인데, DMSP/OLS자료 혹은 원본 NPP-VIIRS 자료를 토대로 분석한 경우보다 더욱 높은 상관관계를 보였다는 점에서 활용가치가 높음을 입증해준다.

## 2. 선행 연구의 고찰

두 가지 관점에서 선행연구를 고찰하고자 한다. 먼저 야간광 분석에 대한 선행연구의 의미를 도출하고, 다음으로는 이를 본 연구의 일환인 활동성 산출과정에서 어떻게 적용하고 해석할지에 대해 다룬다.

### 1) 야간광 지표를 통한 도시 분석

세계 도시의 발달 정도를 알아보는 과정에서 지리적인 특이성으로 인한 오차를 보정하기 위해서는 야간광 분석이 필수적이다. 왜냐하면 항공데이터를 기반으로 진행된 동적네트워크 분석으로부터 얻은 결론은 어디까지나 항공교통편의 이용률과만 관계가 있어서 나머지 운송수단을 간과하게 된다는 단점이 있기 때문이다. 따라서 빛의 밝기에 관한 분석을 통해 에너지 소비량과 비례하는 경제적 번영도(Prosperity), 즉 활동성을 추가하는 편이 지역분석과정에서 필요하다. 이에 더하여 항공교통망이 가진 단점을 추가로 들자면, 서울과 동경 근교에서 볼 수 있는 공항의 교외 입지가 있다. 이들 지역에서는 국제공항이 차지하는 면적상의 부담 때문에 공항을 도시 외부에 건설하였는데, 이렇게 지어진 인천국제공항은 서울과 거리차이가 있고, 마찬가지로 일본에 지어진 나리타 국제공항도 동경과 거리 차이가 있다. 이처럼 도시 내부에 공항을 위치시키지 못하는 경우가 실제로 매우 빈번하게 있으므로, 이러한 경우에 도시의 중심성 지표가 의미를 가지기 위해서는 먼저 도시의 경계를 명확히 설정하여 활동성 지표와 비교할 필요가 있다.

한편, 야간광을 통한 활동성 지표만으로도 도시의 경제적인 영향력과 네트워크를 완전히 파악할 수는 없다. 왜냐하면, DMSP/OLS 위성자료는 글로벌 항공자료와는 다르게 인구의 유입과 유출로부터 동적(Flow)인 네트워크 분석이 가능하지 않다는 한계가 존재하기 때문이다.

다음으로 연구방법에 있어서는, 본 연구에서도 선행연구(Christopher D. Elvidge, et al. 2009)의 보정방법을 수용하여, 가장 밝게 촬영된 1999년의 관측치(F121999)를 기준으로 나머지 연도의 야간광 수치를 2차 회귀모델(Second order regression model)을 통해 보정한 수치로 산출한다.

## 2) 활동성 지표에 관한 고찰

본 연구에서는 글로벌화가 진행됨에 따라 도시의 활력을 나타내는 지표로서 새롭게 정의하는 활동성(Activeness) 지표가 어떤 양태를 띠고 있는지를 조사한다. 따라서 야간광 수치로부터 도시의 경제적·에너지 소비적 활력을 나타내는 활동성 지표를 정의하며, 산출과정에서 빛의 평균밝기 이외의 모든 요소(형태, 군집성 등)는 배제하므로 빛의 세기가 곧 지역의 활동성을 의미하게 된다. 그렇다면 과연 어두운 지역은 활동성이 낮은 것인가에 대한 고찰이 요구되는데, 이에 대해서는 아래의 (1)에서 (3)까지의 각 상황들에 대한 해석이 필요하다.

### (1) 중심성은 높는데 야간광 지표가 낮게 나타나는 경우:

공항이용률은 높지만 공항이 위치한 도시 또는 그 주변 도시가 아직 활성화되지 않았다는 의미이므로 이는 허브공항으로 인한 영향(환승객은 공항만 이용할 뿐, 시내로 나와서 소비하거나 경제활동을 하지 않음)이거나, 공항은 완성되었지만 아직 도시의 발전이 높은 중심성 수준(네트워크도)에 미치지 못한 상태일 수도 있다. 이러한 해석을 통해 기존의 항공데이터가 가지고 있는 한계를 보완할 수 있을 것이다.

### (2) 위와는 반대로 중심성은 낮지만 야간광 지표가 높은 경우:

공항이 없는 소규모 국가와 도시를 걸러내는 역할을 할 수 있을 것이고, 분석대상지역이 대륙의 내륙부에 위치하였다면 항공교통이 아닌 다른 수단을 통한 접근가능성을 제시할 수 있다.

### (3) 시간이 흐름에 따라 도시가 어두워지는 경우(시계열적인 변화):

도시경쟁력과 지역의 허브화 및 상권쇠퇴 등과 접목시킬 수 있다.

### III. 야간광 분석을 위한 모형 구축

#### 1. 야간광 분석을 위한 모형 설정

##### 1) 활동성 지표의 단위

활동성 지표는 조사대상 지역의 평균적인 밝기 값으로 대략 0에서 63까지의 범위를 갖지만, 보정과정을 거치게 되면 연도에 따라 약간의 증감이 발생한다. 일반적으로 빛의 세기는 루멘(Lumen) 또는 룩스(Lux) 단위로 정의하는데, 1루멘(Lumen)이 1.018dc(칸데라)<sup>2)</sup>의 빛을 방출하는 불빛의 양을 의미하는 반면에, 1룩스(Lux)는 1루멘의 불빛에서 1미터 떨어진 단위면적(1m<sup>2</sup>)의 면에 골고루 비춰지는 빛의 양을 의미한다.

따라서 인공위성에서 관측되는 지구표면의 밝기는 센서에 포착되는 빛의 세기를 포착한 결과이므로 광원에서 방출되는 빛의 양(Lumen)보다는 관측되는 빛의 양(Lux)에 가깝다. 물론 이 두 가지 단위(Unit)는 빛의 입사각과 광원으로부터의 거리(인공위성의 궤도)가 일정하다고 가정할 때 비례할 것이다. 그러나 위와 같은 단위를 적용하여 야간광 지표의 밝기(대략 0에서 63까지)를 에너지의 세기(전기에너지 와트: Watt)로서 새로운 단위로 정의하기에는 고려해야할 요소가 매우 많다. 먼저 인공위성 궤도에서의 광센서를 통하여 관측되는 빛의 밝기와 광원(지표면에서 방출되는 야간의 불빛) 사이의 관계를 명확히 정의해야 하는데, 이 둘 사이의 비례관계가 성립함은 선행연구에서 증명되었지만, 구체적인 수식으로 표현되지는 않았다. 예를 들어, 형광등과 할로젠등 및 LED와 백열등에서 방출되는 빛 에너지를 전기에너지로 환산하면, 40와트 형광등의 경우 약 2600에서 3250루멘 정도의 밝기를 내므로 와트당 밝기(Lumen)

---

2) '칸데라'는 Candle(촛불)에서 유래한 용어로서 '촉'이라고 읽기도 하며, 따라서 1dc(칸데라)는 이는 대략 촛불 하나의 불빛을 말한다.

는 65~82lm/w인 반면에, 동일한 방법으로 할로젠등(50와트), 백열등(60와트), LED(7.2와트)의 밝기 효율을 계산하면 20lm/w, 11~16lm/w, 80lm/w로 모두 다르게 나타난다. 다시 말해, 동일한 양의 전기를 소비하지만 전구에 따라서 빛의 밝기가 달라지므로, 광원의 종류가 다양해질수록 야간광과와 전기에너지의 소비량은 비례하지 않을 가능성이 생긴다.

그러나 관측되는 빛의 세기(Lux)로부터 광원의 밝기(Lumen)을 측정하는 방법은 소비되는 전기에너지를 개입시킬 필요가 없기 때문에 적용이 가능하다. 앞에서 다루었던 선행연구(Brian Min, Kwawu Mensan Gaba, 2014)에서는 125개에서 200개의 가로등이 새로 설치될 때마다 야간광의 밝기가 1등급씩 증가한다는 자료가 있었는데, 이를 바탕으로 야간광의 단위를 계산해보면, 200개의 할로젠등(Lamp)이 생길 때마다 DN값이 1씩 증가한다는 설정 하에 할로젠등은 개당 약 1000루멘의 빛을 방출하므로 200개가 모이면 200000루멘을 방출하게 되고, 그렇다면, 위성에서의 관측은 DMSP/OLS의 대략적인 고도인 850km상공에서 수직(90도)으로 지구를 관측한다는 전제하에 0.01Lux가 나온다.

즉, 활동성(Activity) 지표는 인공위성센서에 도달하는 빛의 양이 0.01룩스(Lux)만큼 증가할 때마다 1씩 증가한다. 이를 수식으로 표현하면,  $DN = 0.01\text{룩스(lux)}$ 가 성립한다. 이것을 해석하면 지표면으로부터 850km궤도의 단위면적( $1\text{m}^2$ )에 수직으로 입사하는 빛의 양이 0.01룩스만큼 증가할 때마다, 야간광의 밝기측정값(약 0에서 63까지의 수치)이 1만큼 증가한다는 의미이다. 전제조건으로서는 선행연구에서 다루었던 가로등이 전부 할로젠등이어야 한다는 사실과 할로젠등(Lamp)은 개당 1000루멘(Lumen)의 빛을 발산할 것이라는 가정이 필요하며, 무엇보다도 할로젠등이 정확히 200개 모일 때마다 야간광(DN)이 1 증가한다는 전제가 확고해야한다. 물리학에서는 밝기측정값이 1에서 2로 증가할 때 필요한 빛의 양보다 60에서 61로 증가하기 위해 필요한 빛의 양이 더 커야하지만, 본 연구에서는 측정치의 숫자 간격이 일정할 경우, 동일한 양만큼의 밝기차이가 있는 것으로 가정하였다.

## 2) 회귀검정 분석을 위한 모형의 설정

야간광 분석과정에서는 Christopher D. Elvidge(2014)가 제시한 회귀식을 사용하며, 이를 통해 1992년부터 2012년까지 수집된 OLS 야간광의 밝기를 단일한 기준상에서 비교가능하다. 이러한 회귀검정을 거치는 이유는, 20년 넘게 수집해온 야간광 자료가 원래 1대가 아닌 5대 이상의 인공위성을 통해 기록한 자료이므로 위성에 따른 밝기 값의 차이가 존재한다는 사실에 기초한다(Naizhuo Zhao et al. 2015). Elvidge의 선행연구(2014)에서는 최대 DN값인 63을 가진 픽셀을 비교하여 가장 밝게 나타난 1999년의 자료(F121999)를 기준으로 다른 연도의 데이터를 상호 검정하였다. 이를 통해 나온 것이 2차 회귀모델이며 식으로는 다음과 같다.

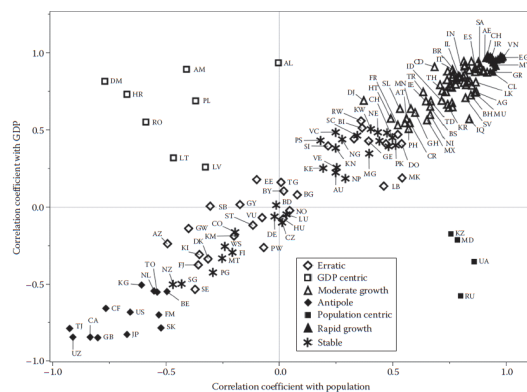
$$DN_{adjusted} = C_0 + C_1(DN) + C_2(DN^2)$$

여기에서 각 C 값은 매년 달라지는 상수이고 DN은 야간광의 화소에 대응하는 Digital Value의 값(밝기)을 의미한다. 위 식에 Elvidge가 정리한 상수(부록 1)를 대입하여 연도별로 정리하면 대략 0에서 최대 65까지의 회귀된 DN수치가 산출된다.

위와 같은 과정을 거친 다음에는 연도별로 조사대상 도시(100곳)에서 DN의 합(sum-of-lights: SOL) 또는 DN의 평균을 구한다. 이를 위해서는 먼저 각 도시별로 밝기의 합을 구하여 이 합계를 각 도시의 면적으로 나누어 해당 지역의 평균 밝기를 산출하는 순서로 진행하거나, 아니면 구역통계(Zonal Statistics)를 이용하여 각 지역의 평균밝기를 구한다. 그리고 최종적으로 산출된 평균 밝기를 활동성 지표로서 정의한다.

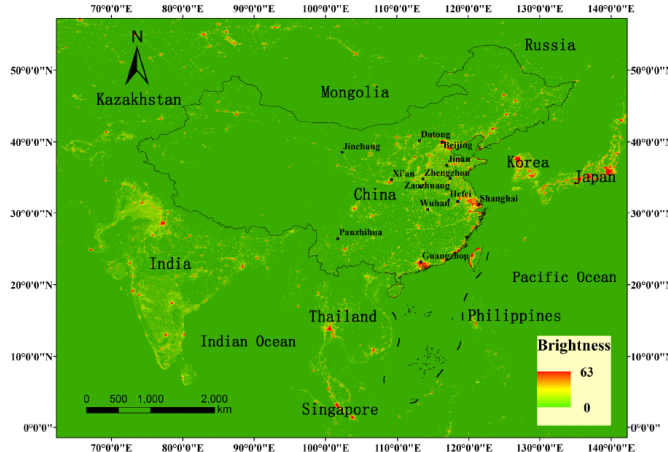
위 과정을 통해 Christopher Elvidge et al(2014)가 도출한 상관성 그래프를 보면, 밝기의 합(SOL)과 인구수, 그리고 GDP는 안정된 상관성을 보이는 것으로 조사되었으나, 국가에 따른 차이가 크게 나타났다. 특히 중국을 포함하여 지속적으로 성장하는 국가들(Mali, Portugal, Egypt,

Vietnam, Qatar, Libya, Botswana, Oman, Iran, Morocco, China, Cyprus, Burkina Faso, Mozambique, Ethiopia, Bhutan, Yemen, Senegal, Jordan, Afghanistan, Grenada, Malaysia, Cape Verde, Liberia, St. Lucia, United Arab Emirate, Tunisia, Laos, Greece, Chile, Bolivia)의 경우에는 밝기의 증가를 명확하게 관찰할 수 있었지만, 이보다 약한 수준의 밝기 증가를 보이는 국가들(Saudi Arabia, Honduras, Angola, Belize, Argentina, Guatemala, Malawi, Spain, Eritrea, Benin, Sudan, Trinidad & Tobago, Equatorial Guinea, Sri Lanka, the Gambia, Panama, India, Italy, Suriname, Brazil, Peru, Syria, Israel, Congo, Turkmenistan, Ecuador, Antigua & Barbuda, Barbados, Algeria, Swaziland, Mauritius, Zambia, Congo DRC, Lesotho, Bahrain, Cambodia, Paraguay, Mauritania, Bosnia & Herzegovina, El Salvador, Gabon, Thailand, Coted'Ivoire, Namibia, South Africa, Iraq, Indonesia, Maldives, South Korea, Turkey, Chad, Ireland, the Bahamas, Nicaragua, Mongolia, Mexico, Ghana, Sierra Leone, Austria, Costa Rica, Uganda, Philippines, Haiti, Djibouti, France)과 밝기 증가를 거의 보이지 않는 국가들(Tajikistan, Uzbekistan, Kyrgyzstan, Canada, United Kingdom, Japan, United States, Netherlands, Belgium)도 나타났다. 특히 밝기 변화가 가장 작은 그룹의 국가에서는 구소련의 일부 지역들도 포함되어 있다.



[그림 6] Christopher Elvidge, et al. 2014. 국가별 GDP와 인구의 상관성

이와 같이 크게 3가지 그룹으로 국가를 나누면, 밝기의 증가폭에 따른 분류가 가능하고, GDP에 따른 지역분류도 가능하다. 그러나 GDP가 낮으면서도 밝기 변화가 작은 개발도상국이 동유럽을 중심으로 나타나므로, 밝기의 증가폭에 따른 분류를 선택하는 편이 그룹설정에 있어서 유리하다는 사실을 알 수 있다.



[그림 7] Pengpeng Han et al. 2014. 2012년 동북아시아의 야간광 밝기측정

## 2. 자료선정

야간광 자료 분석에서의 DN값은 1바이트(8비트)보다 작은 6비트 정보로서 0부터 63까지의 수치로 표현되는데, 이 때 특정 수치를 기준으로 DN값을 0으로 간주함으로서 데이터의 정확성을 높일 수 있다. 그리고 특정 DN값이라 함은 연구자가 임의로 정할 수 있다. 앞에서 언급하였듯이, 도시화의 진행을 판별하기 위한 연구(Tao Xu et al. 2014)에서는 12 이하를 설정하였고, 야간광의 DN값에 관한 예연구에서는 2.5 이하를 설정하였으며, 1차 산업(논, 밭, 목축, 어업, 산림)을 연구대상에서 제외하기 위한 기준으로 8 이하를 설정하였다(Wenze Yue et al. 2014). 한편 이와 반대로, 야간의 조명으로 인해 밤하늘이 밝게 보이는 공해를 천명(天明)현상이라고 부르는데, 이 경우에는 DN값이 60보다 큰 지역을 대



상으로 하여 추가로 빛의 분포까지 조사하여 Hot Spot을 찾아내는 순서로 연구를 진행하였다(김민호, 2014). 참고로 선행연구(Naizhuo Zhao et al. 2015)에서는 다음과 같은 간단한 수식으로 DN값을 통제할 수 있음을 제시하였다.

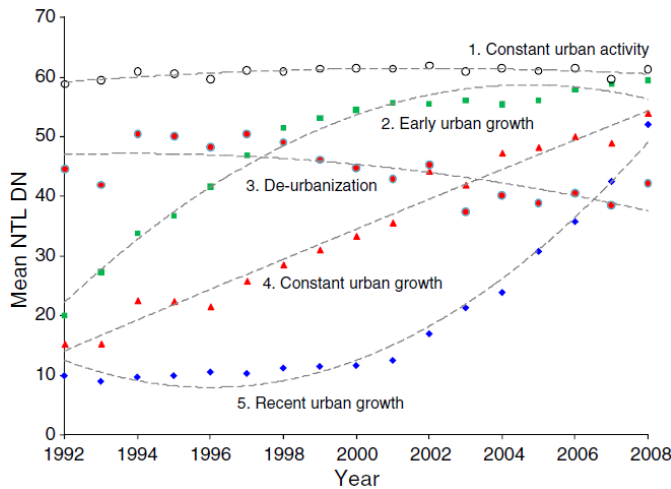
$$DN_{thresholded} = \begin{cases} 0, & DN_{\text{값}} < \text{특정 Value} \\ DN_{\text{값}}, & DN_{\text{값}} \geq \text{특정 Value} \end{cases}$$

여기서  $DN_{\text{값}}$ 은 DMSP/OLS의 NTL이미지로부터 상호검정을 통해 산출한 수치이다.)

예를 들어, 특정 값을 2.5로 지정하면 그 이하의 DN은 0으로 본다.

## 1) DMSP/OLS 야간광 자료

DMSP/OLS는 가시광선과 적외선 영역의 다양한 빛을 감지한다. 또한 위성이 지구의 극궤도를 따라 하루에 14번씩 공전하므로(Elvidge et al. 2009), 각 OLS는 지구의 전체적인 이미지를 하루에 2번 갱신할 수 있다. 그리고 저녁에는 지표면에서 나오는 빛을 감지하는데, 경도와 위도에 있어서 30아크세컨드의 해상도로 운영 중이다. 이를 지표면에 투영시키면, 1km<sup>2</sup>의 크기와 일치한다. 그리고 리모트센싱에서 요구되는 6가지 조건도 만족시키므로 활용도가 매우 높다.



[그림 8] Qingling Zhang, Karen C. Seto. 2011 연도별 밝기의 변화 그래프

- (1) 궤도반경의 중앙에 반쯤 가깝다. (노이즈가 적고, 명확한 이미지)
- (2) 햇빛이 보이지 않는다. (구름이나 바다에 의한 반사가 보정됨)
- (3) 달빛이 보이지 않는다. (구름이나 바다에 의한 반사가 보정됨)
- (4) 햇빛으로 인한 상의 왜곡이 없다.
- (5) 구름으로부터 자유롭다. (구름에 대한 적외선 관측에 기반)
- (6) 오로라 방출로부터 받는 영향이 없다.

## 2) 글로벌 도시의 항공량 자료

Capstats社에서 제공하는 글로벌 도시의 항공자료를 토대로 출발지와 도착지의 행렬(Origin-Destination: OD Matrix)을 만들어 항공량 및 다른 도시(공항)들과의 연계성을 고려하여 산출한 중심성 지표가 존재한다. 이미 선행연구(정해영, 2015)에서 글로벌 도시의 중심성 산출에 관한 일련의 과정을 다루고 있으므로 산출과정에 관한 추가 논의는 생략한다.

표 1 2005년과 2006년의 상위 30개 도시의 배타 중심성 [단위: 100000]

순위	도시	중심성	도시	중심성
1	New York	1468	London	1533
2	London	1450	New York	1510
3	Chicago	1264	Chicago	1278
4	Tokyo	1168	Tokyo	1242
5	Atlanta	1106	Atlanta	1051
6	Los Angeles	901	Paris	938
7	Paris	876	Los Angeles	906
8	Dallas	816	Dallas	840
9	Washington	736	Frankfurt	733
10	Frankfurt	698	Washington	696
11	Houston	662	Hong Kong	670
12	Las Vegas	619	Houston	668
13	Hong Kong	615	Las Vegas	637
14	Phoenix	600	Denver	622
15	Denver	571	Phoenix	611
16	Shanghai	551	Shanghai	611
17	Orlando	531	Osaka	584
18	Osaka	521	Beijing	566
19	Madrid	516	Amsterdam	557
20	San Francisco	516	Seoul	555
21	Bangkok	515	Madrid	555
22	Seoul	512	Bangkok	549
23	Amsterdam	510	Orlando	543
24	Beijing	501	San Francisco	527
25	Philadelphia	484	Boston	491
26	Boston	483	Singapore	490
27	Singapore	469	Philadelphia	473
28	Detroit	462	Milan	466
29	Minneapolis	454	Detroit	460
30	Miami	443	Rome	449

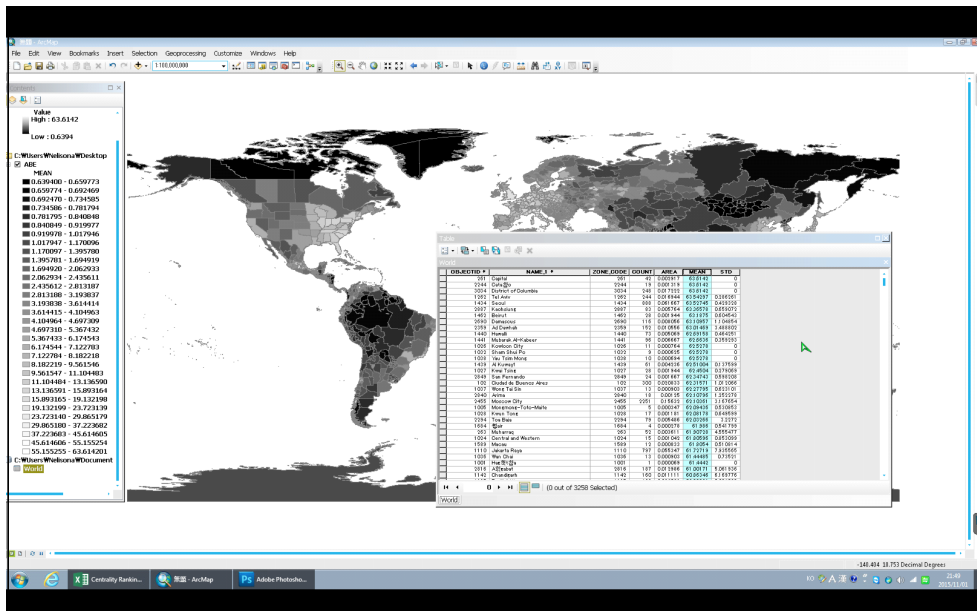
<표 1> 정해영(2015)

## IV. 야간광 지표에 기초한 활동성 분석

### 1. GIS를 이용한 통계 분석

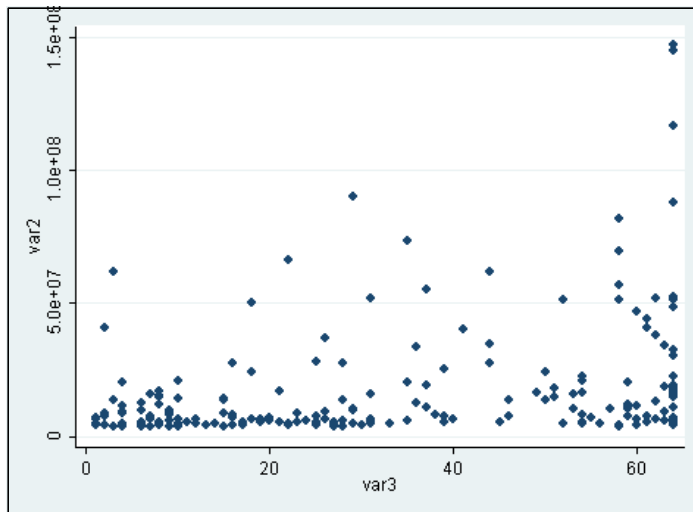
본 연구에서는 세계의 주요도시를 조사대상으로 삼고 있으므로 모든 행정구역경계를 수작업으로 올려서 분석하는 방법은 적절하지 않으며, 도시의 점(Point)좌표로부터 버퍼를 만들어 조사하는 방법도 정확도상의 한계가 있다. 그러므로 정밀한 자료를 산출하기 위하여 먼저 전 세계 모든 지역의 행정경계 지도를 작성하게 되었다.

먼저 지도를 완성하기 위해 먼저 세계의 행정구역(253개 국가) 도형 파일을 받아서 통합하였다. 그 다음으로는 야간광 래스터 이미지의 보정을 위해 QGIS의 래스터 계산기를 이용하여 Elvidge et al(2014)의 상호검정과정을 진행하였고 위에서의 세계지도와 보정된 래스터 이미지를 구역통계(Zonal Statistics)를 통해 분석하였다.



## 2. 야간광 활동성 지표와 중심성 지표의 상관성 검토

앞의 과정으로부터 활동성 지표와 중심성 지표를 모두 산출하여 이들 사이의 상관성을 분석하면 연도에 따라 차이가 날 수 있지만, 대부분의 도시에서 유사정도(상관성)가 높을 것으로 예상된다. 만약, 상관성이 낮거나 연도 및 지역에 따른 차이점이 발견된 경우에는 이를 해석하여 새로운 결론을 도출하는 방향으로 연구를 진행한다.



[그림 10] 2005년의 활동성과 중심성 지표를 200개 도시에서 비교

자료에서 가로축은 야간광의 활동성 지표이고 세로축은 항공자료의 중심성 지표이다. 활동성 지표는 낮지만 중심성 지표가 높게 나타나는 지역이 보이고, 활동성 지표는 높지만 중심성 지표가 낮게 나타나는 지역도 보인다. 이러한 각각의 경우에 대해 원인을 규명하고 Stata/SE를 통하여 pearson 상호검정과 spearman 상호검정을 진행한다.

추가설명: 첫 번째 변수인 활동성 지표(가로축)는 2005년부터 2012년까지의 8년간에 해당하는 데이터로서 활동성 지표를 0부터 65까지 산출한 자료이다. 그리고 두 번째 변수인 중심성 지표(세로축)는 마찬가지로 8년간의 데이터로서 중심성 지표를 산출하여 정리한 자료이다.

## 1) 검정결과 (중심성 지표가 높은 순서대로 추출)

전 세계의 행정도시경계는 31767개인 반면, 중심성 지표를 지닌 글로벌 도시의 개수는 4611개에 불과하므로 일대일 대응이 되지 않는다. 게다가 도시 내부에 공항이 있는 지역은 32000개에 달하지만 이 중 중복되는 도시 및 규모가 작은 공항을 제외한 나머지(4611개)에서 중심성 수치가 0이 아닌 양의 값을 가지는 지역은 3500개로 이내로 추려진다.

이는 활동성 지표에 있어서도 마찬가지인데, 수치가 0.1이하인 지역을 제외하면 약 27000여개 정도의 도시만 남고, 이 중에서도 수치가 12 이하인 소위 말하는 ‘낙후된 지역’을 제외하면 8000개 이내로 추려진다.

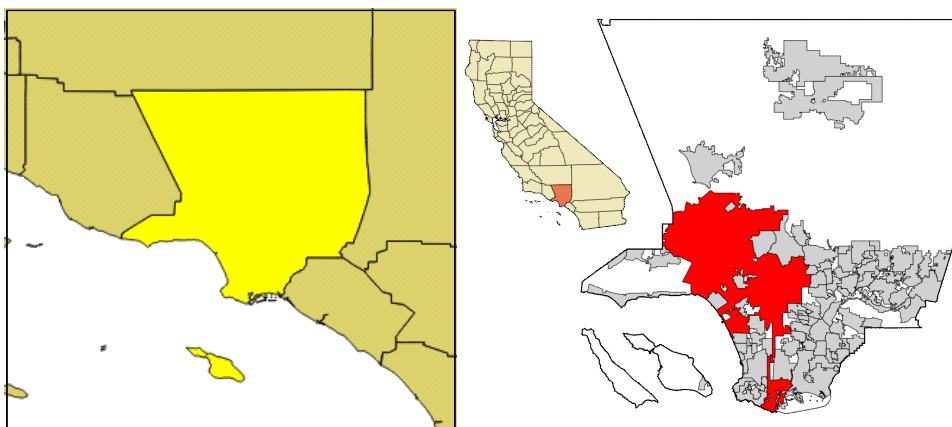
본 분석에서는 위에서 다룬 두 가지 지표를 상호 검정하므로, 교집합에 속하는 약 3500개의 도시를 중심으로 결과를 추출하였으며, 모집단의 수가 적은 중심성 지표에 맞추어 중심성 수치가 큰 순서부터 정렬하면서 이에 대응하는 활동성 수치를 비교하였다.

1(순위)	New York(도시명)	146,800,014(중심성)	64(활동성)
2	London	145,041,900	64
3	Tokyo	116,843,871	64
4	Los Angeles	90,096,603	29
5	Paris	87,553,220	64
6	Dallas	81,572,839	58
7	Washington	73,560,155	35
8	Frankfurt	69,770,131	58
9	Houston	66,215,892	22
10	Las Vegas	61,885,752	3
11	Hong Kong	61,512,579	44
12	Denver	57,067,699	58
13	Shanghai	55,079,434	37
14	Osaka	52,130,267	64
15	Madrid	51,609,300	31
16	San Francisco	51,556,747	62
17	Bangkok	51,493,779	52
18	Seoul	51,177,372	64

<표 2> 2005년의 중심성 지표로 매긴 18위까지의 활동성 지표

분석결과의 일부를 보면 예외적인 수치가 포함되어 있다. 바로 라스베이거스가 대표적인 예인데, 수치가 눈에 띄게 작게 나타나서<sup>3)</sup> 분석 대상에서 제외하였다.

다음으로, 캘리포니아에 위치한 로스앤젤레스(L.A)의 경우에는 도시의 형태가 넓게 퍼져있는데다가 자연 환경상의 특징으로 인해 실제의 경제적 활력에 비해 도시의 야간광의 평균적인 밝기가 28로서 낮게 나타났다. 이는 연구에 사용한 행정경계(Shp)파일과 실제 로스앤젤레스 시(市)의 행정경계가 일치하지 않은 것에도 원인이 있다.



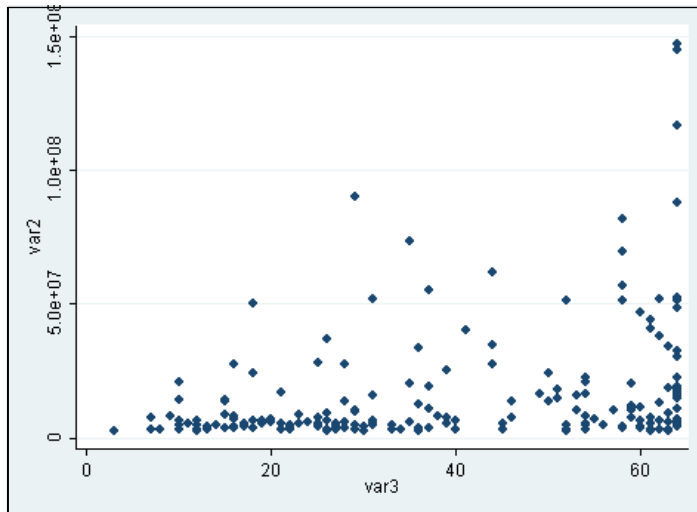
[그림 11] 로스앤젤레스의 행정구역(노란색)과 실제 도시의 경계(붉은색)

따라서 위와 같은 특별한 경우가 있기 때문에 자료를 분석하는 과정에서 연구자의 의지를 개입시켜 수작업으로 제외시켜야하는 부분이 존재한다. 이러한 작업을 거치지 않고 진행한 결과, 중심성 지표 상위 200개의 도시만을 대상으로 분석해보니 Spearman's rho는 0.3528에 p값은 0으로 나왔으며, Prob > t도 마찬가지로 0으로 나타났다. 즉, 두 가지 지표는 독립적이면서도 유의하다는 결과가 나온다.

3) 카지노로 유명한 라스베이거스에서 3이라는 수치가 나타난 이유는 해당 도시의 중심성 수치는 라스베이거스가 맞지만, 활동성 수치는 중미 지역의 '온두라스'라는 국가에 위치한 라스베이거스를 참조한 결과로, 이름은 같지만 전혀 다른 도시의 자료와 연결된 결과이다.

## 2) 검정결과 (중심성 지표가 높은 순서대로 작위적 추출)

앞에서 살펴본 문제점은 실제의 경제적 활력보다 활동성 지표(야간 광의 밝기)가 낮게 나타나서 생기는 것에 기인하므로, 활동성 지표가 10보다 작은 지역들을 조사대상에서 대부분 제외시켜 상위 200개 도시를 다시 추려내었다. 그리고 이를 통해 활동성과 중심성의 상관관계를 Spearman 검정으로 조사하였다. 그 결과는 Spearman's rho가 0.3308에 p값은 0, Prob > t도 마찬가지로 0으로 나타났다. 즉, 두 가지 지표는 독립적이지만 유의하다는 것으로 무작위적 추출과 동일한 결과를 얻었다.



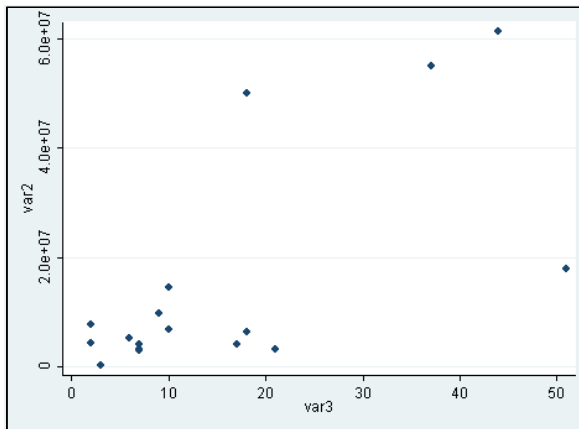
[그림 12] Stata를 이용하여 2005년 활동성과 중심성 지표를 비교

위 그래프도 x축이 활동성, y축이 중심성 지표이다. 작위적인 선별 과정을 거친 결과, 이전과 비교하여 활동성이 낮으면서도 중심성이 높게 나타나는 데이터가 많이 줄어들었다. 다시 말해, 우상향하는 선형에 조금 더 가까워진 분포를 띠게 되었는데, 그래도 여전히 상관성을 인정할 만큼의 관계성은 보이지 않는다. 이에 대한 원인은 개별 데이터를 분석하는 과정에서 확인할 수 있다. 앞선 연구방법에서 이미 다루었지만, 야간 광의 밝기는 국가별로 매우 큰 차이가 있다.

이러한 현상을 해석하기에 앞서, 활동성 지표가 도시의 경제적인 활력을 반영한다고 가정하였으므로 도시가 어둡다는 것은 그만큼 경제적인 활력이 낮다고 평가할 수 있지만, 두 가지 변수 사이의 상호검정을 진행함에 있어서는 매우 큰 오차를 만들어내는 원인으로 작용하기도 한다. 그러므로 본 연구에서는 대륙별로 그룹을 편성하여 분석을 진행하였다.

### 3) 검정결과 (국가 단위의 분석과 국가 그룹별 분석)

먼저 중심성 지표에서는 다루지 않았던 국가별 분류의 필요가 생긴다. 앞에서 다루었던 선행연구(Christopher Elvidge et al. 2014)에서는 국가별 그룹분류 과정에서 밝기 변화가 뚜렷한 국가들과 이보다 밝기 변화가 작게 나타나는 국가들 그리고 밝기 변화가 거의 없는 국가들의 3가지 그룹으로 나누어 진행하였다. 이러한 분류는 밝기 변화가 작은 그룹에 구소련 국가의 일부가 포함된다는 점에서 선진국, 중진국, 개발도상국의 경제수준 범주와는 일치하지 않지만, 상관관계 검정(상호검정) 과정에서 동일 그룹 내에서의 중심성 지표와 활동성 지표 사이의 상관성을 밝혀내기에는 유리한 조건이다.



[그림 13] 중국의 활동성과 중심성 비교. 05

중국의 경우만 놓고 볼 때, 홍콩과 그 주변 지역인 선전시(Shenzhen)가 유난히 밝게 나타난다.

도시명	중심성	활동성
Hong Kong	61512579	44
Shanghai	55079433	37
Beijing	50070493	18
Shenzhen	17869097	51
Chengdu	14344607	10
Hangzhou	9721206	9
Chongqing	7579973	2
Shenyang	6678566	10
Nanjing	6163758	18
Fuzhou	5133767	6
Chiang Mai	4304847	2
Zhengzhou	4006258	17
Wenzhou	3889897	7
Nanchang	2998107	7
Changchun	2969062	7
Tianjin	3179473	21
Jingdezhen	179891	3

<표 3> 중국 17개 도시의 값



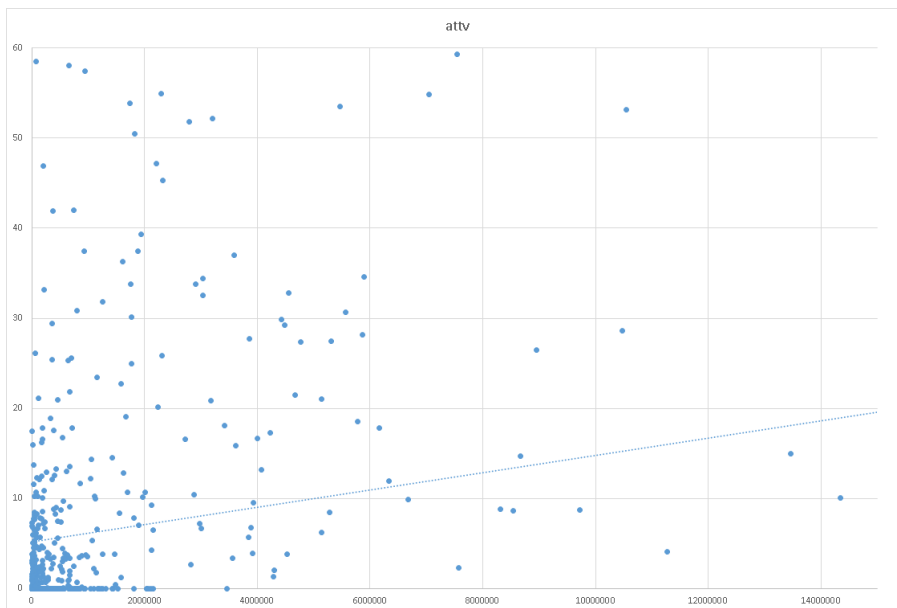
다음으로 대륙별 분석을 진행하였다. 아프리카, 아시아, 오스트레일리아, 캐리비안, 중미, 유럽, 중동, 북미, 남미 및 기타 지역으로 나뉜다.

아시아 지역: 아시아 도시는 695개로 조사되었으며, Spearman 상관 분석 결과, Spearman's rho는 0.5168으로 높은 유사도를 보였다.

대륙	국가명	도시명	중심성	활동성	순위
Asia	Japan	Tokyo	116843871.3	64	1
Asia	Japan	Osaka	52130267.12	64	1
Asia	Japan	Nagoya	16044335.72	64	1
Asia	Philippines	Manila	18083591.33	64	1
Asia	Republic of Korea	Seoul	51177372.33	64	1
Asia	Japan	Tsushima	330188.2807	64	1
Asia	Japan	Fukuoka	34322139.38	63	2
Asia	Japan	Tokushima	3277746.303	63	2
Asia	Chinese Taipei	Kaohsiung	8938950.427	63	2
Asia	Japan	Okinawa	18512963.72	63	2
Asia	Macao	Macao	5719483.323	63	2
Asia	Philippines	Cebu	3239765.33	62	3
Asia	Chinese Taipei	Taipei	40505715.83	61	4
Asia	Japan	Okayama	3288657.721	61	4
Asia	India	Chandigarh	122811.5072	60	5
Asia	Russian Federation	Chita	57465.53545	60	5
Asia	Singapore	Singapore	46889090.7	60	5
Asia	Japan	Hiroshima	7545520.331	59	6
Asia	Viet Nam	Haiphong	66309.76931	59	6
Asia	Japan	Saga	651936.0298	58	7
Asia	Japan	Tottori	942710.5251	57	8
Asia	Myanmar	Yangon	2295985.082	55	9
Asia	Japan	Kumamoto	7044622.502	55	9
Asia	Indonesia	Yogyakarta	1738521.486	54	10
Asia	Indonesia	Surabaya	5473517.494	54	10
Asia	Republic of Korea	Busan	10541687.01	53	11
Asia	India	Delhi	15799479.96	53	11
Asia	Japan	Toyama	3201753.215	52	12
Asia	Thailand	Bangkok	51493779.41	52	12
Asia	Japan	Aomori	2785402.893	52	12
Asia	China	Shenzhen	17869097.64	51	13
Asia	Japan	Niigata	1822877.279	50	14

<표 4> 아시아 대륙에서 중심성 50 이상을 갖는 도시 (2005년)

표를 보면, 중국의 도시가 거의 빠져있음을 알 수 있다. 대개 중국의 도시들은 항공 중심성 수치는 높은 반면에 지역경계가 넓거나 어두운 도시들이 많으므로 활동성 수치는 낮게 나타나는데, 2005년도의 자료에서는 중국의 도시들이 아직 영향력 있는 수준까지 오르지 못한 것을 볼 수 있다. 따라서 아시아 지역은 기존의 선진국들이 중심이 되어 높은 경제적인 활력(활동성)을 발휘하는 한편, 중국의 경제적인 성장도는 낮으므로 네트워크 중심성과의 상관성이 높게 나타난 것으로 해석된다.



[그림 14] 아시아 도시의 중심성(가로축)과 활동성(세로축) 비교. 2005년도

위의 방법으로 유럽의 275개 도시와 북미 지역의 774개 도시를 분석하면 각각 Spearman's rho 수치가 0.4932와 0.3002로 나타나며, p-value는 0으로서 0.05보다 작으므로 유사정도가 높다고 판단된다.

단, 유럽의 도시는 초기에 533개를 대상으로 조사하였는데, 활동성 수치가 0에 가까운 도시들을 제외하여 분석의 정확도를 높일 수 있었고, 그 결과 Spearman's rho 수치가 0.4229에서 0.4932로 높아지며 상관성이 강하게 나타났다.

<표 5> 2005년의 활동성 지표와 중심성 지표의 상호검정결과

<b>아시아</b>	중심성	활동성	<b>유럽</b>	중심성	활동성	<b>북미</b>	중심성	활동성
중심성	1.0000		중심성	1.0000		중심성	1.0000	
활동성	0.4774	1.0000	활동성	0.3423	1.0000	활동성	0.2594	1.0000
Number of objects : 344			Number of objects : 278			Number of objects : 350		
Spearman's rho : 0.6238			Spearman's rho : 0.5081			Spearman's rho : 0.2499		
Prob > t : 0.0000			Prob > t : 0.0000			Prob > t : 0.0000		
p-value : 0.0000			p-value : 0.0000			p-value : 0.0000		

<b>남미</b>	중심성	활동성	<b>중동</b>	중심성	활동성	<b>중앙</b>	중심성	활동성
중심성	1.0000		중심성	1.0000		중심성	1.0000	
활동성	0.4410	1.0000	활동성	0.6195	1.0000	활동성		1.0000
Number of objects : 122			Number of objects : 42			Number of objects : 11		
Spearman's rho : 0.5141			Spearman's rho : 0.5894			Spearman's rho : 0.2055		
Prob > t : 0.0000			Prob > t : 0.0000			Prob > t : 0.5444		
p-value : 0.0000			p-value : 0.0000			p-value : X (신뢰성 없음)		

<b>캐리비안</b>	중심성	활동성	<b>호주</b>	중심성	활동성	<b>아프리카</b>	중심성	활동성
중심성	1.0000		중심성	1.0000		중심성	1.0000	
활동성	0.3785	1.0000	활동성	0.3192	1.0000	활동성	0.4080	1.0000
Number of objects : 41			Number of objects : 53			Number of objects : 137		
Spearman's rho : 0.3869			Spearman's rho : 0.4003			Spearman's rho : 0.7077		
Prob > t : 0.0125			Prob > t : 0.0030			Prob > t : 0.000		
p-value : 0.0147			p-value : 0.0198			p-value : 0.000		

상관성 분석을 진행하는 과정에서 활동성 수치가 0으로 나오는 도시는 중심성 지표와 대응이 되지 않은 경우가 상당수 포함되어 있으므로 본 분석에서는 최종적으로 제외하였다. 그 결과, 위와 같은 자료가 산출되었다. 아시아와 아프리카 대륙의 상관성이 전반적으로 높게 나타났고, 북미 지역의 상관성이 비교적 낮게 나타났다. 그리고 표본의 개수가 60개 이상일 때 상관성 분석이 유효하므로 캐리비안, 호주, 중동, 중동, 중앙 아메리카에서는 분석결과의 신뢰도가 낮으며, 특히 중앙 아메리카 지역은 표본의 신뢰수준이 임계 범위를 벗어나기 때문에 분석대상에서 제외하였다.

2005년도 야간광 활동성 지표의 대륙별 순위는 따로 정리하여 부록에 일부 수록하였다.

#### 4) 활동성과 중심성의 연도별 순위를 통한 상호검정

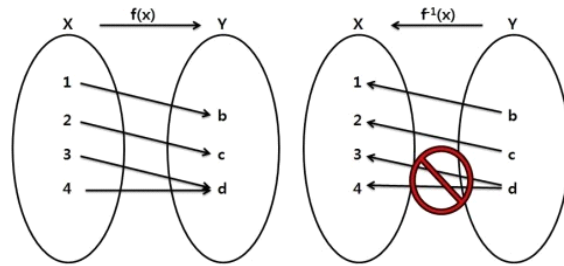
활동성 지표는 대략 0에서 65까지의 좁은 설정 범위를 가지는 반면, 중심성 지표는 0부터 1억5천이 넘는 범위에서 큰 폭으로 변화하기 때문에 상관성 검증과정에서 분석구간의 차이로 인한 오차가 생길 수 있다. 그러므로 중심성의 원본 수치를 활동성 수치와 직접 비교하는 방법보다는 매 연도마다 중심성이 높은 순서부터 순위를 매겨서 이를 활동성의 순위와 비교하는 방식을 택한다면, 정의역 범위가 동일하므로 결과가 더욱 명확해질 것이다.

추가적으로 관광지는 대개 밝게 나타나고, 중국과 중동 지역은 중심성 지표가 대부분 작게 나타난다. 따라서 중심성 지표에서는 다루지 않았던 국가별 분류를 적용하는 과정에서 활동성과 중심성 이외의 인위적인 요소가 개입하여 자료의 객관성을 저해할 수 있다. 즉, 도시 단위의 중심성 지표는 도시 단위의 활동성 지표를 통해 검증해야하는데, 이 과정에서 다른 요소(GDP, 야간광 밝기 변화정도, 지리적 위치)를 통해 도시를 여러 개의 그룹으로 나누면 그 자체로 활동성 지표에 다른 성격을 개입시키게 된다. 따라서 먼저 활동성 지표의 순위를 연도별로 정리하여 이를 바탕으로 중심성 지표의 순위와 비교하는 방법을 고안하였다.

<표 6> 2005년에 가장 높은 활동성 수치(64)를 나타낸 도시

Sydney, Melbourne, Rio de Janeiro, Sao Paulo, Quebec, Prague, Paris, Saint-Denis, London, Osaka, Tokyo, Manila, Columbia, Tel Aviv, Adelaide, Alexandria, Vancouver, Nagoya, Brunswic, New York, Auburn, Glasgow, Norfolk, Philadelphia, Addis Ababa, Perth, Beirut
---

그러나 위의 표에서 알 수 있듯이, 중심성 지표와는 다르게 1위부터의 안정적인 순위를 매길 수는 없었다. 활동성 지표는 밝기 측정을 통해 매겨진 것으로서 대도시 권역에서는 밝기가 최대에 수렴하는 경향을 보이기 때문이다. 다시 말해, 서울과 런던 그리고 뉴욕과 동경에 이르기까지 모든 도시에서의 밝기 값이 63으로 동일한 경우가 생긴다.



[그림 15] 함수의 대응관계

도시의 활동성 지표의 순위를 매기고 이를 글로벌 도시의 중심성 순위와 대응시켜 상관성 검증을 진행할 수 있으나, 정의역에 속하는 도시가 많으므로 치역에서의 일대일 대응관계가 성립하지 않는다.

### 3. 소결

세계적인 범위에서의 분석은 시계열적인 야간광 밝기변화의 차이와 더불어 야간광의 크기를 함께 고려하여 몇 가지 그룹으로 나누는 편이 상관관계 분석에서 유리하다. 그러나 동일 그룹 내에서의 상관성 분석에서도 활동성 지표와 중심성 지표의 상관관계가 작게 나타나는 경우가 있다. 예들 들어, 육로를 통한 접근이 용이한 지역에서는 항공교통의 이용률이 낮으므로 중심성 지표도 낮은 반면, 허브공항이 있는 도시에서는 경제적 활력(활동성)에 비해 중심성 지표가 상대적으로 높게 나온다.

그럼에도 불구하고 세계적인 규모에서 일관된 방법으로 분석한 결과, 두 가지 지표사이에 상관성이 있는 것으로 나타났다. 그리고 실제로 세계의 4611개 도시 중에서 작위적으로 추려내어 검정한 결과, 아시아와 아프리카 대륙에서의 상관성이 높은 것으로 조사되었으며, 대륙에 따른 상관성 격차도 존재하였다. 아프리카의 경우, 일부 주요 도시에 공항이 편재한다는 점과 이집트를 비롯한 중동의 일부 국가가 아프리카 지역으로 분류된 것으로부터, 지역의 영향력이 실제보다 높게 평가된 것으로 보인다. 그리고 중국 대도시에서의 시계열적인 활동성 변화가 미비하다.

## V. 결론

### 1. 연구의 요약 및 시사점

야간광 이미지를 확대해보면 여러 개의 픽셀이 모여서 하나의 세계를 이룬다. 그러나 실제로 이 픽셀들은 한 변의 길이가 약 1km인 정사각형 구역에 해당하므로 면적으로는 100헥타르에 달한다. 이러한 격자를 통해 지구 표면을 잘게 나누면 가로가 43200칸에 세로가 16800칸인 거대한 사각형이 완성되는데, 이렇게 생긴 이미지를 연도별로 수집하여 공식을 통해 보정하였고, 다음으로는 각 지역의 평균픽셀밝기를 계산하여 활동성 지표로서 정의하였다. 활동성 지표는 그 자체만으로는 타당하다. 이를 뒷받침하는 근거로 서울과 뉴욕, 런던, 동경, 오사카, 시드니, 파리 와 같은 세계적인 도시들은 평균값이 최대치 근처에 수렴하였고, 지방도시의 경우에는 각 도시별 특성에 따라서 낮은 수치를 보였다. 구체적으로는 도시의 밀도, 용적률, 녹지 면적, 도로 포장상태, 가로등의 종류, 인구, 에너지 소비량에 따라 DN(밝기)값의 평균이 달라졌다.

다음으로 위 지표를 다른 자료(중심성)와 비교하는 과정에서 상관성검증을 진행하였다. 특히 글로벌 도시의 중심성은 공항과 관련된 성질을 가지므로 자료의 한계가 존재하는데, 이를 야간광의 활동성 지표와 연관시킴으로서 서로 커버하지 못하는 영역을 다루게 됨으로서 상호보완적인 성격을 띠는 것으로 전망하였다. 이러한 가정 하에 분석을 진행한 결과, 교집합 영역에서는 야간광을 통해 얻은 활동성 지표와 항공자료를 통해 얻은 중심성 지표가 높은 유사성을 지니는 것으로 나타났으며, 각 도시의 형태(morphology)적인 차이 및 공항 인접성과 지리적인 접근성 등의 차이에도 불구하고 전 세계 대부분의 도시를 대상으로 분석한 결과, 높은 상관성이 입증되었다는 점에서 도시의 경제적인 활력(야간광)과 연결성(네트워크의 중심성)이 서로 연관됨을 새롭게 증명하였다.

## 2. 연구의 한계 및 향후과제

첫째, 지역별 통계자료의 측정문제이다. 그동안 전 세계의 도시를 대상으로 래스터 이미지를 활용한 구역통계(Zonal Statistics) 연구가 미비했던 이유가 지역별 통계자료의 부족에 기인하다는 사실을 감안하면, 관련 자료를 어떻게 수집하여 편집할 것인가는 중요한 문제이다. 앞으로 이에 대한 합리적인 추계방법이 모색되어야 할 것이다.

둘째, 자료의 제약이다. 앞서 로스앤젤레스의 예에서 보았듯이, 미국의 행정구역은 다른 국가에 비해 큼직하게 나뉘어 있어서 세부적인 조사가 어렵다. 도시란 끊임없이 팽창 또는 수축하며 그 경계가 바뀌므로, 이를 반영하려면 세부적이면서도 정확한 자료가 필요하다. 중심성 지표 산출에 있어서의 항공자료는 출발지와 도착지의 탑승객 수를 계산하여 대상 도시에 맞는 자료를 명확하게 산출할 수 있지만, GIS를 이용하여 공간정보를 다루는 과정에서는 경계데이터를 수집하는 과정이 난해하다. 그리고 무엇보다도 조사대상이 명확해야하는데, 로스앤젤레스처럼 복잡한 경계를 갖는 도시를 경계에 맞추어 통계분석하기가 용이하지 않았다. 그 이유는 나라마다 도시경계가 다르고 각각 주 단위, 현 단위 또는 도 단위, 시 단위 또는 면 단위로 나뉘기 때문에 이를 비교하고자 하는 대상에 맞추어 대조하는 과정에서 동일한 이름을 가진 도시를 발견하거나 고유명칭의 깨짐 현상 등이 발생하는 문제가 있었다. 이에 대해, 현재까지 완전히 신뢰할 만한 자료가 없는 상황임을 감안하면, 본 연구에서 작성한 세계 행정구역지도(shp)가 최초의 시도일수도 있다.

셋째, 시계열적인 분석의 부족이다. 개발도상국의 경우에는 장시간에 걸쳐서 분석할 필요가 있으나, 본 연구에서는 방대한 데이터를 다루는 과정에서 장기간에 걸친 자료를 연구결과에 반영하지 못하였다. 활동성 지표와 중심성 지표를 통하여 지역의 경제적 영향력 변화를 분석하기 위해서는 앞으로 보충되어야 할 작업이다.

## ■ 참고문헌

### 국내논문

- 김상우 외.(2005), “DMSP-OLS 영상에서 관측한 동해 야간조업어선의 분포특성”, 「J. Kor. Fish. Soc」, 38(5): 323-330.
- 김민호(2014), “위성영상을 활용한 국내 빛공해 변화에 관한 연구”, 「한국지도학회지」, 14(1): 49-59.
- 정해영(2015), 세계 도시의 위계와 수렴 현상, 서울대학교 환경대학원 석사학위논문

### 해외논문

- 山中裕則, 外.(1993), “DMSP全球夜間画像の作成と夜の光分布に関する地理学的考察”, 「日本リモートセンシング学会誌」, 13(4): 1~14.
- Bin Gao et al.(2015), “Dynamics of Urbanization Levels in China from 1992 to 2012 Perspective from DMSP/OLS Nighttime Light Data”, *Remote Sensing*, 7(2): 1721-1735.
- Benjamin T. Tuttle et al.(2014), “Aladdin’s Magic Lamp Active Target Calibration of the DMSP OLS”, *Remote Sensing*, 6(12): 12708-12722.
- Brian Min, Kwawu Mensan Gaba,(2014), “Tracking Electrification in Vietnam Using Nighttime Lights”, *Remote Sensing*, 6(10): 9511-9529.
- Christopher c. M. Kyba et al.(2015), “High-Resolution Imagery of Earth at Night New Sources, Opportunities and Challenges”, *Remote Sensing*, 7(1): 1-23.
- Changyong Cao, Yan Bai,(2014), “Quantitative Analysis of VIIRS DNB Nightlight Point Source for Light Power Estimation and Stability Monitoring”, *Remote Sensing*, 6(12): 11915-11935.
- Christopher D. Elvidge et al.(2014), “National Trends in Satellite-Observed Lighting 1992-2012”, *Global Urban Monitoring and Assessment*, 7(2): 97-119.
- Christopher D. Elvidge et al.(2011), “National Trends in Satellite Observed Lighting: 1992-2009”, *Remote Sensing*, (3): 1-17.
- Christopher D. Elvidge et al.(2009), “A Fifteen Year Record of Global Natural Gas Flaring Derived from Satellite Data”, *Energies*, 2(3): 595-622.
- Christopher D. Elvidge et al.(1997), “Mapping City Lights With Nighttime Data



- from the DMSP Operational Linescan System”, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 63(6): 727–734.
- Feng-Chi Hsu et al.(2015), “DMSP-OLS Radiance Calibrated Nighttime Lights Time Series with Intercalibration”, *Remote Sensing*, 7(2): 1855–1876.
  - Hanwei Liang et al.(2014), “Modeling In-Use Steel Stock in China’s Buildings and Civil Engineering Infrastructure Using Time-Series of DMSP-OLS Nighttime Lights”, *Remote Sensing*, 6(6): 4780–4800.
  - Junfu Fan et al.(2014), “Comparative Estimation of Urban Development in China’s Cities Using Socioeconomic and DMSP-OLS Night Light Data”, *Remote Sensing*, 6(8): 7840–7856.
  - J. Y. Tsao et al.(2010), “Solid-state lighting: an energy-economics perspective”, *Journal of Physics D: Applied Physics*, 43(35): 1–18.
  - J. Vernon Henderson et al.(2009), *Measuring Economic Growth from Outer Space* (15199), NBER, p.270.
  - Kaifang Shi et al.(2014), “Evaluating the Ability of NPP-VIIRS Nighttime Light Data to Estimate the GDP and EPC”, *Remote Sensing*, 6(2): 1705–1724.
  - Li Zhang et al.(2015), “Estimating Land Development Time Lags in China Using DMSP-OLS Nighttime Light Image”, *Remote Sensing*, 7(1): 882–904.
  - Lin Ma et al.(2014), “Evaluating Saturation Correction Methods for DMSP OLS”, *Remote Sensing*, 6(10): 9853–9872.
  - Naizhuo Zhao et al.(2015), “Correcting Incompatible DN Values and Geometric Errors in Nighttime Lights Time-Series Images”, *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 53(4): 2039–2049.
  - Pengpeng Han et al.(2014), “Monitoring Trends in Light Pollution in China Based on Nighttime Satellite Imagery”, *Remote Sensing*, 6(6), pp.5541–5558.
  - Qingxu Huang et al.(2014), “Application of DMSP-OLS Nighttime Light Images\_A Meta-Analysis and a Systematic Literature Review”, *Remote Sensing*, 6(8): 6844–6866.
  - Qingling Zhang, et al.(2013), “The Vegetation Adjusted NTL Urban Index: A new

- approach to reduce saturation and increase variation in nighttime luminosity”, *Remote Sensing of Environment*, 129: 32–41.
- Qingling Zhang, Karen C. Seto.(2011), “Mapping urbanization dynamics at regional and global scales using multi-temporal DMSP/OLS nighttime light data”, *Remote Sensing of Environment*, 115: 2320–2329.
  - Rafael Wiemker.(1995), Das Farbkonstanzproblem in der multispektralen Fernerkundung, Universität Hamburg: Institut für Experimentalphysik.
  - Ruifang Hao et al.(2015), “Integrating Multiple Source Data to Enhance Variation and Weaken the Blooming Effect of DMSP-OLS Light”, *Remote Sensing*, 7(2): 1422–1440.
  - Tao Xu et al.(2014), “Characterizing Spatio-Temporal Dynamics of Urbanization in China Using Time Series of DMSP-OLS Night Light Data”, *Remote Sensing*, 6(8): 7708–7731.
  - Tilottama Ghosh, et al.(2013), “Using Nighttime Satellite Imagery as a Proxy Measure of Human Well-Being”, *Sustainability*, 5(12): 4988–5019.
  - William C. Straka, et al.(2015), “Utilization of the Suomi National Polar-Orbiting Partnership (NPP) Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) DayNight Band for Arctic Ship Tracking and Fisheries Management”, *Remote Sensing*, 7(1): 971–989.
  - Wenze Yue et al.(2014), “Estimation of GDP Using Multi-Sensor remote sensing data: A Case Study in Zhejiang Province, East China”, *Remote Sensing*, 6(8): 7260–7275.
  - Yuke Zhou et al.(2015), “Nighttime Light Derived Assessment of Regional Inequality of Socioeconomic Development in China”, *Remote Sensing*, 7(2): 1242–1262.
  - Yang-Woon Lee et al.(2014), “Satellite-based assessment of large-scale land cover change in Asian arid regions in the period of 2001–2009”, *Environ Earth Sci*, 71(9): 3935–3944.
  - Yuyu Zhou et al.(2014), “A Cluster-based method to map urban area from DMSP/OLS nightlights”, *Remote Sensing of Environment*, 147: 173–185.

## 웹사이트

- A Review of the Universe, Metabolic Rate and Kleiber's Law,  
<https://universe-review.ca/R10-35-metabolic.htm>
- Euromonitor International, Top 100 City Destinations Ranking – Jan 27th 2015,  
<http://blog.euromonitor.com/2015/01/top-100-city-destinations-ranking.html>
- Baruch College, Top 100 World Urban Areas – Ranked by Population 2015\*,  
[https://www.baruch.cuny.edu/nycdata/world\\_cities/largest\\_cities-world.htm](https://www.baruch.cuny.edu/nycdata/world_cities/largest_cities-world.htm)
- National Centers for Environmental Information, DMSP-OLS Nighttime Lights,  
<http://www.ngdc.noaa.gov/eog/dmsp/downloadV4composites.html>
- Redrise, Lumen / Lux Calculator and their definitions,  
[http://www.ledrise.com/shop\\_content.php?colD=19I](http://www.ledrise.com/shop_content.php?colD=19I)

<부록 1> Christopher D. Elvidge et al. 2014. 연도별 상호검정계수

**Coefficients for the Intercalibration Applied the Digital Values in the Time Series**

Satellite	Year	$C_0$	$C_1$	$C_2$	$R^2$	Number
F10	1992	-2.0570	1.5903	-0.0090	0.9075	35,720
F10	1993	-1.0582	1.5983	-0.0093	0.9360	38,893
F10	1994	-0.3458	1.4864	-0.0079	0.9243	36,494
F12	1994	-0.6890	1.1770	-0.0025	0.9071	34,485
F12	1995	-0.0515	1.2293	-0.0038	0.9178	37,571
F12	1996	-0.0959	1.2727	-0.0040	0.9319	35,762
F12	1997	-0.3321	1.1782	-0.0026	0.9245	37,413
F12	1998	-0.0608	1.0648	-0.0013	0.9536	37,791
F12	1999	0.0000	1.0000	0.0000	1.0000	39,157
F14	1997	-1.1323	1.7696	-0.0122	0.9101	36,811
F14	1998	-0.1917	1.6321	-0.0101	0.9723	36,701
F14	1999	-0.1557	1.5055	-0.0078	0.9717	38,894
F14	2000	1.0988	1.3155	-0.0053	0.9278	37,888
F14	2001	0.1943	1.3219	-0.0051	0.9448	38,558
F14	2002	1.0517	1.1905	-0.0036	0.9203	36,964
F14	2003	0.7390	1.2416	-0.0040	0.9432	38,701
F15	2000	0.1254	1.0452	-0.0010	0.9320	38,831
F15	2001	-0.7024	1.1081	-0.0012	0.9593	38,632
F15	2002	0.0491	0.9568	0.0010	0.9658	38,035
F15	2003	0.2217	1.5122	-0.0080	0.9314	38,788
F15	2004	0.5751	1.3335	-0.0051	0.9479	36,998
F15	2005	0.6367	1.2838	-0.0041	0.9335	38,903
F15	2006	0.8261	1.2790	-0.0041	0.9387	38,684
F15	2007	1.3606	1.2974	-0.0045	0.9013	37,036
F16	2004	0.2853	1.1955	-0.0034	0.9039	36,856
F16	2005	-0.0001	1.4159	-0.0063	0.9390	38,984
F16	2006	0.1065	1.1371	-0.0016	0.9199	37,204
F16	2007	0.6394	0.9114	0.0014	0.9511	37,759
F16	2008	0.5564	0.9931	0.0000	0.9450	37,469
F16	2009	0.9492	1.0683	-0.0016	0.8918	33,895
F18	2010	2.3430	0.5102	0.0065	0.8462	36,445
F18	2011	1.8956	0.7345	0.0030	0.9095	36,432
F18	2012	1.8750	0.6203	0.0052	0.9392	37,576

<부록 2> 공개되어있는 DMSP/OLS 위성의 야간광 위성 자료

Average Visible, Stable Lights, & Cloud Free Coverages						
Year/ Sat.	F10	F12	F14	F15	F16	F18
1992	F101992	-----	-----	-----	-----	-----
1993	F101993	-----	-----	-----	-----	-----
1994	F101994	F121994	-----	-----	-----	-----
1995	-----	F121995	-----	-----	-----	-----
1996	-----	F121996	-----	-----	-----	-----
1997	-----	F121997	F141997	-----	-----	-----
1998	-----	F121998	F141998	-----	-----	-----
1999	-----	F121999	F141999	-----	-----	-----
2000	-----	-----	F142000	F152000	-----	-----
2001	-----	-----	F142001	F152001	-----	-----
2002	-----	-----	F142002	F152002	-----	-----
2003	-----	-----	F142003	F152003	-----	-----
2004	-----	-----	-----	F152004	F162004	-----
2005	-----	-----	-----	F152005	F162005	-----
2006	-----	-----	-----	F152006	F162006	-----
2007	-----	-----	-----	F152007	F162007	-----
2008	-----	-----	-----	-----	F162008	-----
2009	-----	-----	-----	-----	F162009	-----
2010	-----	-----	-----	-----	-----	F182010
2011	-----	-----	-----	-----	-----	F182011
2012	-----	-----	-----	-----	-----	F182012
2013	-----	-----	-----	-----	-----	F182013

출처: NOAA(National Centers for Environmental Information)

<부록 3> 2005년 아프리카 대륙 도시의 활동성 및 중심성 지표 (1위~30위)

대륙	국가	도시	중심성	활동성
Africa	Egypt	Alexandria	598712.8	64.1108
Africa	Egypt	Alexandria	461552	64.1108
Africa	Ethiopia	Addis Ababa	1822840	63.933
Africa	Egypt	Asyut	60971.86	63.9252
Africa	Ghana	Accra	1471067	56.1137
Africa	Congo	Brazzaville	475307	54.8556
Africa	Senegal	Saint Louis	5831.186	54.5145
Africa	South Africa	Durban	3204452	54.0066
Africa	Egypt	Luxor	908429.2	53.941
Africa	South Africa	Johannesburg	16531620	53.7501
Africa	Tunisia	Tunis	4581735	51.8577
Africa	Morocco	Rabat	312073.8	49.5752
Africa	Sudan	Khartoum	1339942	46.2321
Africa	Egypt	Aswan	554944.2	45.3131
Africa	Madagascar	Antananarivo	967613.6	42.8938
Africa	Ethiopia	Mekele	92073.36	40.6203
Africa	Mali	Bamako	740205.4	39.0494
Africa	Zimbabwe	Harare	685198.2	36.9861
Africa	Zambia	Lusaka	500810.1	35.9783
Africa	Mauritius	Mauritius	2781838	35.5149
Africa	United Republic of Tanzania	Koblenz	294163.8	32.7606
Africa	Madagascar	Sainte-Marie	28022.04	30.667
Africa	Morocco	Casablanca	6249574	30.5672
Africa	Zimbabwe	Bulawayo	36017.86	29.2668
Africa	Kenya	Nairobi	4662060	25.2199
Africa	South Africa	Kimberley	109217	23.7024
Africa	Mozambique	Maputo	586103.9	23.6148
Africa	Senegal	Dakar	2177153	22.222
Africa	Kenya	Mombasa	602834.1	21.4736

## Abstract

# Comparative Analysis of Centrality and Activity in Global Cities Using DMSP-OLS Night Light Data

Jiyong Song

Dept. of Environmental Planning  
Graduate School of Environmental Studies  
Seoul National University

Throughout the 20th century, science and technology have developed rapidly during the world war and cold war. This stimulates economic growth which enough to trigger the new world order. And, the challenges to the world order may not necessarily be actor-driven, because it is determined by socio-economic factors associated with 'influences' among cities in the world.

In the 21th century, 'influences' can be defined as economic indicator and globalisation index, however it is not sufficient to make a good standard for estimating cities 'power'. because economic index 'GDP' can not reflect the real economic influences and the world is becoming borderless thanks to the rapid advances in technology.

Researcher who works for urban planning, use some kind of special index like LQ data in comparative analyzing process. However in many cases, it is insufficient to estimate economic status or cities morphological structure.

This research suggests how satellite images of global night lights can be used to estimate economic activity at the sub-regional level in the world. Furthermore it suggests a relationship between the activity index and the centrality index by defining it as a new factor which indicate city's influences.

Hence, this research use a correlation analysis between activity index from DMSP/OLS image and centrality index from global flight data in order to examine the relationship between human economic activities at night and the amount of flight network. To examine it, night light images from NOAA are needed and shape files are also needed and match it with both shape files and light image images.

The result of panel study demonstrates the fact that activity index has a considerable similarity with centrality index. It is supported by a correlation process.

◆ Key words : remote sensing, night light index, centrality, activity, correlation analysis

◆ Student Number : 2014-24011